



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001144275 A**(43) Date of publication of application: **25.05.01**

(51) Int. Cl.

H01L 27/12
C30B 29/06
H01L 21/02
H01L 21/316
H01L 21/324

(21) Application number: **2000043764**(22) Date of filing: **22.02.00**(30) Priority: **27.08.99 JP 11240946**(71) Applicant: **SHIN ETSU HANDOTAI CO LTD**

(72) Inventor: **AKIYAMA SHOJI**
TAMAZUKA MASARO

(54) METHOD FOR PRODUCING BONDING SOI
WAFER AND BONDING SOI WAFER

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an SOI wafer including a high quality SOI layer having excellent surface roughness and reduced crystal defect with high productivity, high production yield and low cost.

SOLUTION: In the method for producing a bonding SOI wafer, a single crystal silicon rod is grown by Czochralski method and sliced to obtain a single crystal

silicon wafer. The single crystal silicon wafer is heat treated at 1100-1300°C for 1 min or longer in nonoxidizing atmosphere and further heat treated continuously at 700-1300°C for 1 min or longer in oxidizing atmosphere without cooling down to 700°C or below to produce a single crystal silicon wafer having a silicon oxide film formed on the surface which is then employed as a bond wafer for forming a bonding SOI wafer. A bonding SOI wafer produced by that method is also include in the invention.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-144275

(P2001-144275A)

(43) 公開日 平成13年5月25日 (2001.5.25)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 27/12		H 0 1 L 27/12	B
C 3 0 B 29/06	5 0 2	C 3 0 B 29/06	5 0 2 C
H 0 1 L 21/02		H 0 1 L 21/02	B
21/316		21/316	S
21/324		21/324	X
審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 16 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-43764 (P2000-43764)

(22) 出願日 平成12年2月22日 (2000.2.22)

(31) 優先権主張番号 特願平11-240946

(32) 優先日 平成11年8月27日 (1999.8.27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000190149

信越半導体株式会社

東京都千代田区丸の内1丁目4番2号

(72) 発明者 秋山 昌次

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半
導体株式会社半導体磯部研究所内

(72) 発明者 玉塚 正郎

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半
導体株式会社半導体磯部研究所内

(74) 代理人 100102532

弁理士 好宮 幹夫

(54) 【発明の名称】 貼り合わせSOIウエーハの製造方法および貼り合わせSOIウエーハ

(57) 【要約】

【課題】 結晶欠陥の少ないウエーハ表面粗さの優れた高品質のSOI層を有するSOIウエーハを、高生産性、高歩留、低コストで得る。

【解決手段】 貼り合わせSOIウエーハの製造方法において、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成し、該単結晶棒をスライスしてシリコン単結晶ウエーハに加工した後、該シリコン単結晶ウエーハに非酸化性雰囲気下で1100～1300℃の温度の熱処理を1分以上加え、700℃未満の温度に冷却することなく連続して酸化性雰囲気下で700～1300℃の温度の熱処理を1分以上加えることにより表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン単結晶ウエーハを作製し、これをボンドウエーハとして用いる貼り合わせSOIウエーハの製造方法。およびこの方法で製造された貼り合わせSOIウエーハ。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ボンドウエーハとベースウエーハとを酸化膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウエーハを薄膜化する貼り合わせSOIウエーハの製造方法において、

チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成し、該単結晶棒をスライスしてシリコン単結晶ウエーハに加工した後、該シリコン単結晶ウエーハに非酸化性雰囲気下で1100～1300℃の温度の熱処理を1分以上加え、700℃未満の温度に冷却することなく連続して酸化性雰囲気中で700～1300℃の温度の熱処理を1分以上加えることにより表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン単結晶ウエーハを作製し、該ウエーハを前記ボンドウエーハとして用いることを特徴とする貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項2】 ボンドウエーハとベースウエーハとを酸化膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウエーハを薄膜化する貼り合わせSOIウエーハの製造方法において、

チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成し、該単結晶棒をスライスしてシリコン単結晶ウエーハに加工した後、該シリコン単結晶ウエーハに非酸化性雰囲気下で1100～1300℃の温度の熱処理を1分以上加え、700℃未満の温度に冷却することなく連続して酸化性雰囲気中で700～1300℃の温度の熱処理を1分以上加えて表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン単結晶ウエーハを作製し、該ウエーハのシリコン酸化膜を通して水素イオンまたは希ガスイオンの少なくとも一方を表面から注入してイオン注入層を形成させたウエーハを前記ボンドウエーハとし、このボンドウエーハのシリコン酸化膜を介して前記ベースウエーハと密着させ、次いで熱処理を加えて前記イオン注入層で剥離することを特徴とする貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項3】 請求項2に記載された貼り合わせSOIウエーハの製造方法によってイオン注入層で剥離されたボンドウエーハを新たなボンドウエーハとして用いることを特徴とする貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項4】 請求項2に記載された貼り合わせSOIウエーハの製造方法によってイオン注入層で剥離されたボンドウエーハを新たなベースウエーハとして用いることを特徴とする貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項5】 前記非酸化性雰囲気が、アルゴン、窒素、あるいはアルゴンと窒素の混合ガスであることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項6】 前記酸化性雰囲気が、水蒸気を含む雰囲気であることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項7】 前記酸化性雰囲気が、乾燥酸素雰囲気、または乾燥酸素とアルゴンもしくは窒素との混合ガス雰囲気であることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項8】 前記酸化性雰囲気下での熱処理により形成される酸化膜厚を20～100nmとすることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項9】 前記非酸化性雰囲気下での熱処理を行なう前のウエーハ表面に、予め酸化膜を形成しておくことを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか1項に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項10】 前記酸化性雰囲気下での熱処理後のウエーハ表面の熱酸化膜の厚さを300nm以上にすることを特徴とする請求項9に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項11】 前記チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、該単結晶棒の1150～1080℃における冷却速度を2.3℃/min以上に制御しつつ育成することを特徴とする請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項12】 前記チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、窒素をドーブしたシリコン単結晶棒を育成することを特徴とする請求項1ないし請求項11のいずれか1項に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項13】 前記チョクラルスキー法によって窒素をドーブしたシリコン単結晶棒を育成する際に、該単結晶棒にドーブする窒素濃度を、 $1 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ にすることを特徴とする請求項12に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項14】 前記チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、該単結晶棒に含有される酸素濃度を18ppma以下にすることを特徴とする請求項1ないし請求項13のいずれか1項に記載した貼り合わせSOIウエーハの製造方法。

【請求項15】 請求項1ないし請求項14に記載した方法によって製造された貼り合わせSOIウエーハ。

【請求項16】 SOI層がCZシリコン単結晶ウエーハからなり、SOI層厚が5μm以下のSOIウエーハであって、SOI層の深さ方向の全領域にわたり、大きさが0.09μm以上のCOPが1.3個/cm²以下であることを特徴とする貼り合わせSOIウエーハ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、結晶欠陥が表面および表面近傍で非常に少ない貼り合わせSOIウエーハの製造方法及び貼り合わせSOIウエーハに関する。

【0002】

【従来の技術】SOI (Silicon On Insulator) はデバイス作製領域となるシリコン層直下に絶縁膜としての埋め込み酸化膜 (BOX: Buried Oxide) を有し、省電力・高速デバイスのシリコン材料として期待されるものである。SOIウエーハ製造方法のひとつとして貼り合わせ法があるが、これは2枚のシリコン単結晶ウエーハをボンドウエーハ (デバイスが作製されるSOI層となる基板) 及びベースウエーハ (SOI層を支持する基板) として酸化膜を介して貼り合わせ、ボンドウエーハを薄膜化してSOI構造を形成する方法である。この方法はSOI層の結晶性に優れ、BOXの絶縁性が高いという利点があるが、一方、SOI層の品質がこのボンドウエーハの質に大きく左右されるという欠点も存在する。

【0003】具体的には、チョクラルスキー法 (CZ法) で作製されたシリコンウエーハ中には、ボイド型欠陥であるCOP (Crystal Originated Particles) 等の微小な結晶欠陥 (Grown-in欠陥) が存在することが知られており、これらは酸化膜耐圧特性をはじめとするデバイス特性に悪影響を及ぼす。この問題を解決するために、ボンドウエーハに用いる基板としてCZウエーハに水素雰囲気でのアニールを施したウエーハやエピタキシャル層を形成したエピタキシャルウエーハを用いることにより、観察される欠陥が減少することが知られている (特開平9-22993号公報、特開平9-260619号公報参照)。しかし、これらの方法では水素アニールまたはエピタキシャル成長などの熱処理と、SOIウエーハの埋め込み酸化膜を形成するための酸化膜形成熱処理の二つの熱処理が必要となり、コストの増大・スループットの低下などという問題が存在する。

【0004】また、エピタキシャルウエーハの場合、エピタキシャル層表面にヘイズ (面荒れ) が発生したり、マウンドと呼ばれる突起物が形成されることもあり、これらが貼り合わせ時の結合不良の原因となるため、一旦エピタキシャル層表面を研磨してから結合するといった手間が必要となる場合がある。

【0005】一方、水素アニールを行うことにより結晶欠陥が低減するのは、極表面層 ($0.5\mu\text{m}$ 程度) に限られているため、これ以上の膜厚を有するSOIウエーハを作製した場合のSOI表面には、結晶欠陥が低減されていない領域が露出することになるので、SOIウエーハを作製してからさらに水素アニールを追加するといった対策をとらなければ、SOI層全体にわたる結晶欠陥の低減をすることはできなかった。さらに、水素を用いたアニールは常に石英チューブやSiC製のボート等をエッチングしてしまい、そこから金属不純物等の汚染が起こることもあり得る。

【0006】さらに、水素雰囲気中で熱処理を行った後

は、熱処理炉内を窒素ガスで置換してからウエーハを取り出すことにより安全を確保する必要があるが、窒素ガス中に含まれる微量の酸素及び水分がウエーハ表面を局部的にエッチングしてしまい、ヘイズ等の表面粗さを悪化させ、これらが貼り合わせ時の結合不良の原因となるという問題点もあった。

【0007】また、最近では、CZ法により単結晶育成時の成長速度と固液界面の温度勾配とを厳密にコントロールしながら結晶を引き上げれば、Grown-in欠陥が非常に低減されたCZウエーハができることが報告されている。このようなウエーハをボンドウエーハに用いればSOI層の欠陥が少ないSOIウエーハを作製することができることは容易に推測できるが、現実的にはこのような非常に厳しい成長条件で結晶を引き上げることは、当然のことながら製造歩留の低下につながり、結果的に多大なコストアップをもたらすものである。

【0008】一方、FZ法で作製された単結晶であれば、CZ単結晶に見られる様なCOP欠陥はフリーであるが、現在の商用レベルで生産可能なFZ結晶は直径150mmが限度であり、実験レベルでは200mmも可能であるが、今後の300mm、400mmといった大口径のウエーハに対する目処はたっていない。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、このような問題点に鑑みなされたもので、CZ法によって作製されたシリコン単結晶ウエーハの表層部のGrown-in欠陥を熱処理により効果的に低減あるいは消滅させたウエーハを貼り合わせウエーハのボンドウエーハとして用いることにより、結晶欠陥の少ない高品質のSOI層を有するSOIウエーハを、高生産性、高歩留、低コストで得ることを主たる目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する本発明は、ボンドウエーハとベースウエーハとを酸化膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウエーハを薄膜化する貼り合わせSOIウエーハの製造方法において、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成し、該単結晶棒をスライスしてシリコン単結晶ウエーハに加工した後、該シリコン単結晶ウエーハに非酸化性雰囲気下で1100~1300℃の温度の熱処理を1分以上加え、700℃未満の温度に冷却することなく連続して酸化性雰囲気下で700~1300℃の温度の熱処理を1分以上加えることにより表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン単結晶ウエーハを作製し、該ウエーハを前記ボンドウエーハとして用いることを特徴とする貼り合わせSOIウエーハの製造方法である (請求項1)。

【0011】このように、貼り合わせSOIウエーハの製造方法において、チョクラルスキー法によって得られたウエーハに、非酸化性雰囲気下で1100~1300℃の温度の熱処理を1分以上加え、700℃未満の温度

に冷却することなく連続して酸化性雰囲気中で700～1300℃の温度の熱処理を1分以上加えるようにして、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン単結晶ウエーハを作製し、このシリコン単結晶ウエーハをボンドウエーハとして用いるようにすれば、半導体デバイス作製に有害なウエーハ表層部のGrown-in欠陥を短時間で消滅あるいは減少させた高品質のシリコン単結晶ウエーハをボンドウエーハとすることができるため、結晶欠陥の少ない高品質のSOI層を有するSOIウエーハを、高生産性、高歩留、低コストで得ることができる。

【0012】また、本発明は、ボンドウエーハとベースウエーハとを酸化膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウエーハを薄膜化する貼り合わせSOIウエーハの製造方法において、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成し、該単結晶棒をスライスしてシリコン単結晶ウエーハに加工した後、該シリコン単結晶ウエーハに非酸化性雰囲気中で1100～1300℃の温度の熱処理を1分以上加え、700℃未満の温度に冷却することなく連続して酸化性雰囲気中で700～1300℃の温度の熱処理を1分以上加えて表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン単結晶ウエーハを作製し、該ウエーハのシリコン酸化膜を通して水素イオンまたは希ガスイオンの少なくとも一方を表面から注入してイオン注入層を形成させたウエーハを前記ボンドウエーハとし、このボンドウエーハのシリコン酸化膜を介して前記ベースウエーハと密着させ、次いで熱処理を加えて前記イオン注入層で剥離することを特徴とする貼り合わせSOIウエーハの製造方法である（請求項2）。

【0013】このように、貼り合わせSOIウエーハの製造方法において、チョクラルスキー法によって得られたウエーハに、非酸化性雰囲気中で1100～1300℃の温度の熱処理を1分以上加え、700℃未満の温度に冷却することなく連続して酸化性雰囲気中で700～1300℃の温度の熱処理を1分以上加えるようにして、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン単結晶ウエーハを作製し、該ウエーハのシリコン酸化膜を通して水素イオン等を表面から注入してイオン注入層を形成させたウエーハを前記ボンドウエーハとし、このボンドウエーハのシリコン酸化膜を介して前記ベースウエーハと密着させ、次いで熱処理を加えて前記イオン注入層で剥離するようにする方法（いわゆるイオン注入剥離法）を用いれば、高品質のシリコン単結晶ウエーハをボンドウエーハとすることができることに加えて、剥離後のSOIウエーハの表面状態も良好であり、SOI層の膜厚均一性に優れたSOIウエーハを比較的簡単な方法で製造することができる。

【0014】この場合、上記本発明の貼り合わせSOIウエーハの製造方法によってイオン注入層で剥離されたボンドウエーハを新たなボンドウエーハとして用いることができる（請求項3）。

【0015】このように、本発明の貼り合わせSOIウエーハの製造方法によってイオン注入層で剥離されたボンドウエーハは、熱処理が加えられたことにより、表面から深さ5μm～10μm程度、あるいはそれ以上に及ぶ領域までGrown-in欠陥が消滅しており、しかもイオン注入層で剥離される薄膜は厚くても1μm程度であるので、薄膜が剥離された後のボンドウエーハであっても、十分な深さの無欠陥（低欠陥）領域を有する。従って、このウエーハを再利用するために表面を研磨したとしても、十分な無欠陥領域が残ることになり、これを新たなボンドウエーハとして用い、酸化膜を介してベースウエーハと貼り合わせた後、ボンドウエーハを薄膜化してSOIウエーハを作製すれば、貼り合わせ前のボンドウエーハにGrown-in欠陥を消滅させるための熱処理を再度加える必要がなく、高品質の貼り合わせSOIウエーハを効率良く製造することができる。

【0016】また、この場合、上記本発明の貼り合わせSOIウエーハの製造方法によってイオン注入層で剥離されたボンドウエーハを新たなベースウエーハとして用いることができる（請求項4）。

【0017】薄膜が剥離された後のボンドウエーハ表面の無欠陥領域よりも内部（バルク部）においては、熱処理の影響により酸素析出物が大量に発生している場合がある。このような場合には、このウエーハを新たなベースウエーハとして用い、酸化膜を介してボンドウエーハと貼り合わせた後、ボンドウエーハを薄膜化してSOIウエーハを作製すれば、重金属不純物等のゲッタリング能力の高い貼り合わせSOIウエーハを得ることができる。この場合、バルク部に酸素析出物が大量に発生していたとしても、表面近傍は前述の如く無欠陥領域であるため、酸素析出物がベースウエーハ表面に露出することがなく、ボンドウエーハとの貼り合わせに悪影響を及ぼすことがないという利点も有する。

【0018】この場合、前記非酸化性雰囲気が、アルゴン、窒素、あるいはアルゴンと窒素の混合ガスであることが好ましい（請求項5）。これらのアルゴン、窒素、あるいはアルゴンと窒素の混合ガス雰囲気は、取り扱いが簡単で、安価である利点があるからである。

【0019】また、この場合、前記酸化性雰囲気が、水蒸気を含む雰囲気であるものとすることができる（請求項6）。このように、前記酸化性雰囲気を水蒸気を含む雰囲気とすれば、酸化速度が速いため、極めて短時間で効率よく格子間シリコンを注入して欠陥を消滅させることができる。また、ボンドウエーハ表面に形成される酸化膜が比較的厚くなるため、BOXの厚さが厚いSOIウエーハを製造する用途に適している。

【0020】この場合、前記酸化性雰囲気が、乾燥酸素雰囲気、または乾燥酸素とアルゴンもしくは窒素との混合ガス雰囲気であるものとすることもできる（請求項7）。このように、前記酸化性雰囲気が、乾燥酸素雰

気、または乾燥酸素とアルゴンもしくは窒素との混合ガス雰囲気であれば、酸化膜の成長速度が遅いので、熱処理後にボンドウエーハ表面に形成される酸化膜厚を薄くすることができるため、BOXの厚さが薄いSOIウエーハを製造する用途に適している。

【0021】また、前記酸化性雰囲気下での熱処理により形成される酸化膜厚を20～100nmとすることが好ましい（請求項8）。このように前記酸化性雰囲気での熱処理により形成される酸化膜厚が20nm以上であれば、十分にボンドウエーハ表層部のCOPを除去することができる。また100nm以下とすれば、形成された酸化膜を除去する必要がある場合でも、その工程に要する時間を短くすることができる。さらに、前記イオン注入剥離法を用いてSOIウエーハの製造をする場合には、酸化膜厚の面内バラツキの絶対値が小さくなるので、SOI層の膜厚均一性が良好になるという利点もある。

【0022】また、前記非酸化性雰囲気下での熱処理を行なう前のウエーハ表面に、予め酸化膜を形成しておいても良い（請求項9）。このような酸化膜を形成しておけば、熱処理によるウエーハ表面への熱酸化膜の形成やエッチングによる面粗れからウエーハ表面を保護することができる。そのため、貼り合わせ時の結合不良を防止することができる。

【0023】さらに、この場合、前記酸化性雰囲気下での熱処理後のウエーハ表面の熱酸化膜の厚さを300nm以上にすることが好ましい（請求項10）。このように、酸化性雰囲気下の酸化熱処理により厚さ300nm以上の熱酸化膜を成長させることにより、非酸化性雰囲気下での熱処理を行なう前のウエーハ表面に予め酸化膜を形成した場合においても、ウエーハ表面のCOPを酸化膜成長時の酸化シリコンのリフロー現象により消滅させることができるので、より確実にウエーハ表面のCOPを消滅させることができる。

【0024】また、前記チョクラスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、該単結晶棒の1150～1080℃における冷却速度を2.3℃/min以上に制御しつつ育成することが好ましい（請求項11）。このように、チョクラスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、単結晶棒の1150～1080℃における冷却速度を2.3℃/min以上に制御しつつ育成すれば、Grown-in欠陥のサイズが小さくなり、これに前記した熱処理を加えるため、より効果的にウエーハ表層部のGrown-in欠陥を消滅あるいは減少させることができる。従って、より高品質のSOI層を持つSOIウエーハを高生産性で得ることができる。

【0025】またこの場合、前記チョクラスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、窒素をドーブしたシリコン単結晶棒を育成することが好ましい（請求

項12）。このように、チョクラスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、窒素をドーブしたシリコン単結晶棒を育成すれば、窒素をドーブすることによりGrown-in欠陥のサイズが一層減少し、これに熱処理を加えるため、より効果的にウエーハ表層部のGrown-in欠陥を消滅あるいは減少させることができる。従って、より高品質のSOI層を持つSOIウエーハを高生産性で得ることができる。

【0026】この場合、前記チョクラスキー法によって窒素をドーブしたシリコン単結晶棒を育成する際に、該単結晶棒にドーブする窒素濃度を、 $1 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ にすることが好ましい（請求項13）。これは、Grown-in欠陥の成長を十分に抑制するためには、 $1 \times 10^{10} \text{ atoms/cm}^3$ 以上にするのが好ましいことと、シリコン単結晶の単結晶化の妨げにならないようにするためには、 $5 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ 以下にするのが好ましいからである。

【0027】さらに、前記チョクラスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、該単結晶棒に含有される酸素濃度を18ppma（JEIDA：日本電子工業振興協会規格）以下にすることが好ましい（請求項14）。このように、低酸素とすれば、結晶欠陥の成長を一層抑制することができるし、表面層での酸素析出物の形成を防止することもできる。

【0028】そして、本発明の製造方法で製造された貼り合わせSOIウエーハ（請求項15）は、例えば、SOI層がCZシリコン単結晶ウエーハからなり、SOI層厚が5μm以下のSOIウエーハであって、SOI層の深さ方向の全領域にわたり、大きさが0.09μm以上のCOPが1.3個/cm²以下である貼り合わせSOIウエーハである（請求項16）。このように、本発明の貼り合わせSOIウエーハは、SOI層膜厚が0.5μm以上のものであっても、SOI層の深さ方向の全領域にわたり、COPが極めて少ないSOIウエーハとすることができる。さらに、本発明のSOIウエーハはSOIウエーハ作製後の水素アニール等を施す必要もなく、生産性も高い。

【0029】以下、本発明についてさらに詳述するが、本発明はこれらに限定されるものではない。本発明は、チョクラスキー法によってシリコンウエーハを得た後、このウエーハに非酸化性ガス、特にアルゴン、窒素、あるいはこれらの混合ガス雰囲気下での高温熱処理と酸化性雰囲気下での高温酸化熱処理を連続して施すことにより、ウエーハ表面および表層部のGrown-in欠陥を消滅あるいは低減し、しかもウエーハの表面粗さを向上させる事が可能であるという知見に基づき、このシリコンウエーハを貼り合わせSOIウエーハのボンドウエーハとして用いることにより、優れたSOI層を持つSOIウエーハを高生産性で製造することができる。

ことを見出し、諸条件を精査して完成されたものである。

【0030】前述のように、ウエーハ表面および表層部のGrown-in欠陥を消滅あるいは低減するため、通常の商業レベルで使われているのは、約1.0mm/min以上の一般的な結晶成長速度で成長させたウエーハを水素雰囲気下で高温熱処理し、Grown-in欠陥を消滅させようとしたものである。この方法はすでに製品化され実際のデバイスの製造に用いられているが、ウエーハの表層部（例えば0～5μm）においてはほとんど欠陥が残留していることが問題であった。

【0031】この原因としては以下の理由が考えられた。原子空孔の凝集体であるGrown-in欠陥を消滅させるには2つの過程が必要である。すなわち、真性点欠陥がGrown-in欠陥へ移行するのを妨げる欠陥の内壁酸化膜の溶解過程と、それに引き続く格子間シリコンによるGrown-in欠陥の充填過程の二つである。

【0032】前記水素雰囲気下での高温熱処理では、ウエーハ表層部のGrown-in欠陥の内壁酸化膜の溶解は、その著しい酸素外方拡散効果により効率的に起きると考えられる。しかしながら格子間シリコンによるGrown-in欠陥の充填は、水素雰囲気下での高温熱処理では、ウエーハ表面からショットキー欠陥である格子間シリコンと原子空孔が両方注入されるため効率的には起こすことができない。

【0033】従って、水素雰囲気下での高温熱処理では格子間シリコンによるGrown-in欠陥の充填過程が長時間に亙るものとなり、特に直径換算でサイズが150nm以上のGrown-in欠陥を消滅させるためには1200℃にて5時間以上の高温・長時間の熱処理を必要とした。このことは、ウエーハの生産性を著しく低下させるばかりでなく、水素雰囲気下で長時間の高温熱処理を必要とすることになり、安全面においても好ましい方法とはいえない。さらには、長時間の高温熱処理を行うため、シリコン単結晶ウエーハ中の酸素析出核をも消滅させてしまうこととなり、デバイス工程で有効な重金属のゲッタリング効果をも失ってしまう問題点もある。

【0034】本発明者らはこれらの問題を、水素を爆発下限界（約4%）以上含まない非酸化性ガス、特にアルゴン、窒素、あるいはこれらの混合ガス雰囲気下で1100～1300℃の温度の熱処理を1分以上加えた後、700℃未満の温度に冷却することなく連続して酸化性雰囲気下で700～1300℃の温度の熱処理を1分以上加えることにより解決した。すなわちアルゴン、窒素、あるいはこれらの混合ガス雰囲気下での高温熱処理で欠陥内壁酸化膜の溶解過程を効率的に進行させ、さらに連続的に酸化性雰囲気下での熱処理に切り替えることにより格子間シリコンによるGrown-in欠陥の

充填過程をも効率的に進行させることが可能となったのである。

【0035】ここで、欠陥の内壁酸化膜の溶解過程を水素を爆発下限界（約4%）以上含まない非酸化性ガス、特にアルゴン、窒素、あるいはこれらの混合ガス雰囲気下での高温熱処理により行うこととしたのは、水素雰囲気下での高温熱処理後に連続して酸素雰囲気下での熱処理を行うことは安全上非常に難しいからである。水素雰囲気の代わりに水素を爆発下限界（約4%）以上含まない非酸化性ガス、特にアルゴン、窒素、あるいはこれらの混合ガス雰囲気を用いることにより、初めて2つの過程の熱処理を連続して安全に行うことが可能となる。また、非酸化性ガス、特にアルゴン、窒素、あるいはこれらの混合ガス雰囲気下での高温熱処理においても水素雰囲気下と同様に、Grown-in欠陥の内壁酸化膜の溶解はその酸素外方拡散効果により効率的に起きるため、水素雰囲気下と同様に効率良く短時間で欠陥内壁酸化膜の溶解過程を進行させることができる。

【0036】アルゴン雰囲気が水素雰囲気と同等の酸素の外方拡散効果を持つ理由として、アルゴン雰囲気下での1100～1300℃という高温熱処理では、ウエーハ表面の自然酸化膜がSiO₂ガスとして昇華し除去されるためであると考えられる。また、窒素雰囲気においては、酸素の外方拡散効果は同等であるが、表面の自然酸化膜が均一に除去されないため、熱処理前に予め自然酸化膜をHF水溶液にて除去しておくことが好ましい。さらにアルゴンと窒素との混合雰囲気においても、水素雰囲気と同等の外方拡散効果を得ることができる。なおこの熱処理は、Grown-in欠陥の内壁酸化膜を十分に溶解するために、1100～1300℃の温度で1分以上行うこととした。

【0037】また、高温における窒素雰囲気下の熱処理ではシリコンウエーハ表面に非常に安定な熱窒化膜が形成されてしまい、その後のプロセスにおいてその膜を除去するのに手間がかかる場合や、窒素中の微量な酸素や水分によりウエーハ表面が面粗れを生ずることがある。そこで、本発明者らは熱処理前のウエーハ表面に予め保護酸化膜を形成しておくことにより、窒素雰囲気における不要な膜形成や表面粗れからウエーハ表面を保護することができることを見出した。

【0038】さらに、このような保護酸化膜は、不要な膜形成や表面粗れからウエーハ表面を保護できるとともに、熱処理中に炉内からウエーハ内部に拡散する重金属不純物汚染を防止する効果をも有する。

【0039】また、欠陥内壁酸化膜の溶解過程と格子間シリコンによるGrown-in欠陥の充填過程の熱処理を連続して行うこととしたのは、この2つの過程の熱処理を連続して行わない場合、ウエーハの温度の低下によりGrown-in欠陥の内壁酸化膜が再成長してしまい、結果的に欠陥を消滅あるいは低減することができ

なくなるからである。そのため Grown-in 欠陥の内壁酸化膜が再成長する 700℃未満の温度に冷却することなく連続的に2つの過程の熱処理を行うこととした。

【0040】そして、本発明では、Grown-in 欠陥の充填過程を、酸化性雰囲気下の熱処理によることとした。これは、酸化性雰囲気下の熱処理では、水素雰囲気下の熱処理を継続した場合と異なり、ウエーハの表面から原子空洞が注入されることがなく格子間シリコンのみが注入されるため、効率良く格子間シリコンにより Grown-in 欠陥を充填して、Grown-in 欠陥を消滅させると共に、非酸化性雰囲気下の高温熱処理により活性化した表面を酸化することで表面粗れや汚染を防ぐことができるからである。なお、この熱処理は十分に Grown-in 欠陥を充填して消滅させるために、1000～1300℃で1分以上行うことが好ましいが、700℃以上であれば Grown-in 欠陥の減少と表面粗れを防ぐ効果を得ることができる。

【0041】ここで、この酸化性雰囲気としては、水蒸気を含む雰囲気や乾燥酸素 (dry O₂) 100% 雰囲気、あるいは乾燥酸素とアルゴンもしくは窒素との混合ガス雰囲気等を適用することができる。水蒸気を含む雰囲気の場合、酸化速度が速いため、700℃程度の比較的低温でも極めて短時間で効率良く格子間シリコンを注入して欠陥を消滅させることができる。また、表面に形成される酸化膜は比較的厚くなるため、埋め込み酸化膜の膜厚が厚い SOI ウエーハを製造する場合に適している。

【0042】一方、乾燥酸素雰囲気、あるいは乾燥酸素とアルゴン若しくは窒素との混合ガス雰囲気の場合、酸化膜の成長速度が遅いので、熱処理後に形成される酸化膜を薄くすることができ、形成された酸化膜を HF 水溶液等で除去する必要がある場合、あるいは前記イオン注入剥離法を用いる場合に適している。

【0043】なお、混合ガス雰囲気を用いた場合等、酸化膜の成長速度が遅く、形成される酸化膜厚が薄い場合には、格子間シリコンを注入して欠陥を消滅させることができる効果が劣ることが懸念された。そこで本発明者らは、以下の実験により、どの程度の酸素濃度で、どれ程の厚さの酸化膜を形成すれば十分に欠陥を消滅させることができるかを確認した。

【0044】アルゴン 100% 雰囲気下、1200℃、40 分間アニールした後に、酸素濃度の異なる 6 種類のアルゴンと乾燥酸素の混合ガス (酸素濃度 0、20、30、50、100%) で 20 分間アニールした後、ウエーハの表面を 5 μm 研磨して 0.09 μm 以上の COP を測定した結果をそれぞれ図 9 (a) (b) に示した。5 μm 研磨した理由は、ウエーハ表層部における COP の消滅効果を観察するためである。図 9 (a) には、アニール雰囲気中の酸素濃度と COP 数との関係を示して

おり、図 9 (b) には、アニールにより形成された酸化膜厚と COP 数との関係を示している。図 9 の結果から、混合ガス雰囲気中の乾燥酸素濃度が 10% 程度でも、形成される酸化膜厚 20 nm 以上であれば、乾燥酸素 100% (酸化膜厚 100 nm 程度) と同等の効果を得られることがわかる。

【0045】さらに、非酸化性雰囲気下での熱処理後に酸化性雰囲気下で熱処理することにより、チューブやポートからのウエーハへの汚染を最小限に防ぐ効果があることがわかった。図 10 は、アルゴン 100% 雰囲気下、1200℃、40 分間アニールした後に、アルゴンと乾燥酸素の混合ガス (酸素濃度 30%) で 20 分間アニールする熱処理と、水素 100% またはアルゴン 100% で 1200℃、60 分間アニールする熱処理のそれぞれを別々のチューブで繰り返し熱処理し、各熱処理毎のウエーハ中の金属不純物による汚染レベルの推移を比較したものである。汚染レベルの測定は、Semiconductor Diagnostics Inc. (SDI) 社製の、SPV (Surface Photon Voltage) (商品名: ウエーハ汚染モニターシステム) を用いた。

【0046】水素やアルゴンのみのアニールではチューブやポートのエッチングが起きるため、突発的に不純物レベルが悪化することが分かる。一方、酸化性雰囲気でのアニールを含む熱処理では、アニール工程においてウエーハ表面やポートやチューブ表面にも酸化膜が形成されるため、常に保護酸化膜が形成され、チューブやポートからの汚染を最小限に防ぐ効果があると考えられる。

【0047】このような 700～1300℃での酸化熱処理で消滅させることができるのは、シリコンウエーハ表面に現れていないウエーハ内部の結晶欠陥に限定される。それは、ここでの欠陥の消滅は、酸化による表面からの格子間シリコンの注入によるボイド型結晶欠陥の充填によるものであるからである。従って、表面に露出している COP のようなボイド型結晶欠陥は、この酸化熱処理前のアルゴン雰囲気等の熱処理によるウエーハ表面のシリコン原子のマイグレーションにより消滅させておく必要がある。ところが、前記のように予め表面保護酸化膜を形成してあると、表面シリコン原子のマイグレーションが抑制されるため、表面の COP の消滅が不十分になってしまう可能性がある。

【0048】そこで、本発明者らは非酸化性雰囲気下での熱処理の前に予め表面保護酸化膜を形成する場合には、前記 700～1300℃での酸化熱処理後のウエーハ表面の熱酸化膜厚を 300 nm 以上とすることにより、ウエーハ表面の COP を十分に消滅させる方法を考えた。これは、酸化熱処理後にウエーハ表面の熱酸化膜厚が 300 nm 以上であれば、その熱酸化膜を成長させる過程において、表面の COP の形状が滑らかになり、実質的に COP を消滅させたのと同じ効果を得ることができるからである。また、ウエーハ表面の COP の平

均サイズは100～200nmであり、300nm程度の厚さの酸化膜を形成すれば、COPを酸化膜中に取り込んで消滅させるのに充分だからである。尚、この酸化熱処理で形成された酸化膜は、HF水溶液等で除去することができる。

【0049】さらに本発明者らは、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に単結晶棒の1150～1080℃における冷却速度を2.3℃/min以上に制御する方法、および単結晶棒を育成する際に窒素をドーブしたシリコン単結晶棒を育成する方法により、サイズの大きいGrown-in欠陥の数が少ないシリコンウエーハを高生産性で生産し、上記本発明のアルゴン等の非酸化性熱処理及び酸化性熱処理に供することにより、さらにシリコン単結晶ウエーハのGrown-in欠陥を消滅・減少する効果を向上させることを発見した。

【0050】すなわち、Grown-in欠陥は結晶引き上げ中の1150～1080℃の温度帯でその凝集が起これと言われている。従って1150～1080℃の温度帯における冷却速度を2.3℃/min以上と速くし滞在時間を短くすることにより、Grown-in欠陥のサイズと数をコントロールすることが可能となる。

【0051】また、窒素をシリコン単結晶中にドーブすると、シリコン中の原子空孔の凝集が抑制されることが指摘されている(T.Abe and H.Takeno, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 262, 3, 1992)。この効果は原子空孔の凝集過程が、均一核形成から不均一核形成に移行するためであると考えられる。したがって、CZ法によりシリコン単結晶を育成する際に、窒素をドーブすれば、Grown-in欠陥の小さいシリコン単結晶およびこれを加工してシリコン単結晶ウエーハを得ることが出来る。しかも、この方法によれば、前記従来法のように、結晶成長速度を必ずしも低速化する必要がないため、高生産性でシリコン単結晶ウエーハを得ることが出来る。

【0052】また、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、単結晶棒に含有される酸素濃度を18ppm以下にすることが好ましい。これは、このような低酸素濃度とすれば、結晶欠陥の成長を一層抑制することができ、またウエーハ表層部での酸素析出物の形成を防止することができるからである。特に、単結晶に窒素をドーブした場合には酸素析出が促進されるので、上記酸素濃度とすることによりウエーハ表層部での酸素析出物の形成を防止することが好ましい。

【0053】

【発明の実施の形態】本発明において、チョクラルスキー法においてGrown-in欠陥のサイズと数を冷却速度でコントロールするには、具体的には結晶の引き上げ速度を変化させればよい。例えば、ある特定の引き上げ装置を用いた場合、単結晶を引き上げ速度1.8mm/minにした場合は、同様の装置で1.0mm/min

nで引き上げた場合に比べて冷却速度は高くなる。その他の方法としては、引き上げ装置のホットゾーンと呼ばれる炉内部材の配置、構造等を変更しても1150～1080℃での冷却速度を調整することは可能である。

【0054】また、チョクラルスキー法による単結晶育成中に不純物窒素をドーブする事によってもGrown-in欠陥の大きさをコントロールすることができる。この場合、窒素をドーブしたシリコン単結晶棒を育成するには、例えば特開昭60-251190号に記載されているような公知の方法によれば良い。

【0055】すなわち、シリコン単結晶棒を育成する前に、あらかじめ石英ルツボ内に窒化物を入れておくか、シリコン融液中に窒化物を投入するか、雰囲気ガスを窒素を含む雰囲気等とすることによって、引き上げ結晶中に窒素をドーブすることができる。この際、窒化物の量あるいは窒素ガスの濃度あるいは導入時間等を調整することによって、結晶中のドーブ量を制御することが出来る。このように、チョクラルスキー法によって単結晶棒を育成する際に、窒素をドーブする事によって、結晶成長中に導入されるGrown-in欠陥の凝集を抑制することができる。

【0056】窒素をシリコン単結晶中にドーブすると、シリコン中に導入される結晶欠陥が小さくなる理由は、前述の通り原子空孔の凝集過程が、均一核形成から不均一核形成に移行するためであると考えられる。従って、ドーブする窒素の濃度は、十分に不均一核形成を引き起こす、 $1 \times 10^{10} \text{ atoms/cm}^3$ 以上にするのが好ましく、より好ましくは $5 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以上とするのがよい。これによって結晶欠陥の凝集を十分に抑制することができる。一方、窒素濃度が、シリコン単結晶中の固溶限界である $5 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ を超えると、シリコン単結晶の単結晶化そのものが阻害されるので、この濃度を超えないようにする。

【0057】また、本発明では、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶棒を育成する際に、単結晶棒に含有される酸素濃度を18ppm以下にするのが好ましいが、単結晶棒に含有される酸素濃度を上記範囲に低下させる方法は、従来から慣用されている方法によれば良い。例えば、ルツボ回転数の減少、導入ガス流量の増加、雰囲気圧力の低下、シリコン融液の温度分布および対流の調整等の手段によって、簡単に上記酸素濃度範囲とすることが出来る。

【0058】こうして、チョクラルスキー法において、Grown-in欠陥のサイズと数が低減されたシリコン単結晶棒が得られる。これを通常の方法にしたがい、内周刃スライサあるいはワイヤソー等の切断装置でスライスした後、面取り、ラッピング、エッチング、研磨等の工程を経てシリコン単結晶ウエーハに加工する。もちろん、これらの工程は例示列挙したにとどまり、この他

にも洗浄等種々の工程があり得るし、工程順の変更、一部省略等目的に応じ適宜工程は変更使用することができる。

【0059】こうして、本発明においてボンドウエーハとなるCZシリコン単結晶ウエーハが得られる。以下、このCZシリコンウエーハを用いて本発明のSOIウエーハを製造する方法について説明する。図1(A)～

(E)は、本発明の貼り合わせSOIウエーハの製造行程の一例を示したフロー図であり、図2は貼り合わせ前にボンドウエーハとなるシリコン単結晶ウエーハに加えられる熱処理の概要を示した図である。

【0060】まず、ボンドウエーハとなるCZシリコン単結晶ウエーハ5に対し、図1(B)(C)及び図2に示すように2段階ステップより構成される熱処理を行う。まず、一段目としてArガス100%雰囲気下で1100℃から1300℃の温度域において1分以上のアニールを行い、結晶中の酸素を外方拡散させボイド欠陥の酸化膜内壁を溶解させる。シリコン単結晶ウエーハ5には低欠陥層3が形成される(図1(B)、図2)。続いて700℃未満の温度に下げることなく連続的に酸化性雰囲気下で700℃から1300℃の温度域において1分以上のアニールを行い酸化膜4を形成することによりSi/SiO₂界面より格子間シリコンの注入を行い、結晶中のより深いところまでボイド欠陥を消滅させ、低欠陥層3が拡大する(図1(C)、図2)。この方法により、表面から深さ5μm～10μm程度、あるいはそれ以上までCOPを効果的に消滅させることができる。なお、この熱処理を行うには、清浄度の管理された熱処理炉であれば広く市販されているどのような形態の熱処理炉であっても利用可能である。

【0061】例えば、ヒーター加熱式の横型あるいは縦型の拡散炉を用いても良いし、ランプ加熱式の毎葉式ウエーハ加熱装置を用いても良い、重要なことはGrown-in欠陥を効果的に消滅あるいは低減するために、十分な非酸化性雰囲気下での熱処理温度と熱処理時間、及びそれに引き続く十分な酸化性雰囲気下での熱処理温度と熱処理時間を確保し、なおかつ二つの熱処理間の温度が低下し過ぎないように連続的に行うことである。

【0062】そのためには、シリコン単結晶ウエーハ5を非酸化性ガス、特にアルゴン、窒素、あるいはアルゴンと窒素の混合ガス雰囲気下1100～1300℃の温度で1分以上の熱処理を施した後、700℃未満の温度に冷却することなく、引き続き酸化性雰囲気下700～1300℃の温度で1分以上酸化する必要がある。

【0063】前述のように、非酸化性ガス、特にアルゴン、窒素、あるいはアルゴンと窒素の混合ガス雰囲気下の熱処理と酸化熱処理の間を連続的に処理しない場合、Grown-in欠陥の内壁酸化膜が再成長し結果的に欠陥を消滅あるいは低減することができなくなる。従ってウエーハ5を炉内から出さずに、ウエーハ5が7

00℃未満の温度に冷却する前に連続してアルゴン雰囲気等の熱処理と酸化熱処理を行うことが好ましい。また、同一温度で連続して熱処理を行うことにより熱処理時間を短縮することができる。

【0064】このようにするには、例えばアルゴン、窒素、あるいはアルゴンと窒素の混合ガス等の雰囲気下での熱処理を行った後に、炉内の温度を冷却せずに雰囲気ガスを排気し、引き続き所望の濃度の酸素ガスを導入して酸化熱処理を行うようにすればよい。本発明では、初段の欠陥内壁酸化膜の溶解を行う熱処理をアルゴン、窒素、あるいはアルゴンと窒素の混合ガス等の水素を爆発下限界(約4%)以上含まない非酸化性ガス雰囲気下で行うため、従来からある市販の熱処理炉を用いても安全に次段の酸化熱処理を行うことができる。

【0065】また、欠陥内壁酸化膜を溶解させるためのアルゴン、窒素、あるいはアルゴンと窒素の混合ガス等の非酸化性雰囲気下での熱処理を行なうウエーハ表面に、あらかじめ保護酸化膜を形成させてから行なう場合においては、その酸化膜形成熱処理は、内壁酸化膜を溶解させる熱処理の前段に組み入れて連続的に行なってもよいし、全く別の熱処理によりあらかじめ形成しておいてもよい。また、この酸化膜の形成はいわゆる乾燥酸素によるdry酸化や水蒸気を含むwet酸化のような熱酸化でもよいし、CVD(Chemical Vapor Deposition)法によるCVD酸化膜であってもよい。

【0066】なお、図1(C)、図2に示す2段目の酸化性雰囲気下での熱処理では、雰囲気に水蒸気を含まないdry酸化、あるいは水蒸気を含むwet酸化のどちらをも適用することができ、本発明の本質であるGrown-in欠陥に格子間シリコンを注入する効果及び面粗さを改善する効果としては同等の効果が期待できる。

【0067】次に図1(D)に示すように、このようにして製造された表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン単結晶ウエーハをボンドウエーハ1として用い、貼り合わせSOIウエーハを製造する。図1(D)に示すように、前の工程で形成された酸化膜4をSOIウエーハのBOXとして使用するため、工程の簡略化が可能である。更に、Arアニールの後に酸化膜が形成されるので、膜質に優れたBOXを形成することが可能となる。このBOXを介してベースウエーハ2と室温で密着させ、さらに強固に結合するため200℃以上、通常は1000℃～1200℃程度の結合熱処理を加える。ベースウエーハ2としてはシリコン単結晶ウエーハが用いられるのが通常であるが、用途によっては絶縁性基板(石英、サファイア等)を用いてもよい。また、シリコン単結晶ウエーハを用いた場合には、ベースウエーハ2に酸化膜を形成してから結合することもできる。

【0068】結合熱処理を行った後は、ボンドウエーハ1に通常の研削、研磨等による薄膜化を行ってSOIウ

エーハ10を作製する(図1(E))。こうして、ベースウエーハ2上に、酸化膜4から成るBOX12と、低欠陥層3から成るSOI層11が形成された貼り合わせSOIウエーハ10を得ることができる。このSOIウエーハ10のSOI層11は、低欠陥層3から成るため、その深さ方向の全領域にわたりCOP等の欠陥が極めて少ないものとすることができる。なお、この場合、PACE (Plasma Assisted Chemical Etching) と呼ばれる気相エッチングを行ってボンドウエーハ1の薄膜化を行うこともできる(特許第2565617号公報参照)。

【0069】また、イオン注入剥離法(スマートカットと呼ばれる技術、特開平5-211128号公報参照)を用いてSOIウエーハを作製する場合には、前記2段熱処理によりシリコン単結晶ウエーハ5の表面に酸化膜4を形成した段階で、その酸化膜4を通して水素イオンあるいは希ガスイオンの注入を行ってボンドウエーハ1とし、ベースウエーハ2との結合を行う。この場合、作製されるSOI層膜厚のバラツキは、イオン注入深さのバラツキと酸化膜厚のバラツキを合わせたトータルのバラツキとなるので、これをできるだけ小さくするためには、ボンドウエーハ1となるシリコン単結晶ウエーハ5に形成される酸化膜4の厚さをできるだけ薄くして酸化膜バラツキの絶対値を小さくすることが望ましい。このため、酸化膜厚は100nm以下にすることが好ましく、また、欠陥消滅効果を十分に得るためには20nm以上とすることが好ましい。尚、このようにボンドウエーハに形成する酸化膜厚を100nm以下にした場合であって、SOIウエーハのBOXとして、これ以上の厚さがデバイス設計上必要とされる場合には、ベースウエーハに不足分の酸化膜を形成して結合すればよい。

【0070】また、このようなイオン注入剥離法によりSOIウエーハを作製する際に剥離されたボンドウエーハを、新たなボンドウエーハ、あるいはベースウエーハとして用いることができる。前述のように、このように副生された剥離後のボンドウエーハは、その表層には十分な深さの無欠陥領域を有しており、バルク部では熱処理により充分な量の酸素析出物が析出するため、良好なボンドウエーハ、あるいはベースウエーハとなり得る。

【0071】この場合特に、本発明で副生されるウエーハは一方の面が剥離面であり、その反対側の面はもとのシリコンウエーハのままの平坦な面である。したがって、剥離面側のみに研削・研磨等の再処理を加えればよい。したがって、片面だけの処理であるので簡単であり、且つその取りしろも少なく済む。すなわち、通常のシリコンインゴットからスライスしてシリコンウエーハを得る場合には、両面が切断面であるため、ラッピング、エッチング工程等が必要不可欠であり、その取りしろも多いものとなるが、本発明の剥離ウエーハは、片面が平坦であるため、これを基準に剥離面を研削・研磨す

れば足り、わずかな取りしろで通常のシリコン鏡面ウエーハと同じ平坦な面を得ることができる。

【0072】そして、こうして剥離ウエーハを再処理して得られたシリコンウエーハを、SOIウエーハのボンドウエーハ、あるいはベースウエーハとして再利用するようにすれば、実質上1枚のシリコンウエーハから1枚のSOIウエーハを得ることができ、材料としてのシリコンウエーハの利用률을著しく改善することができる。

【0073】

【実施例】以下、本発明の実施例および比較例を挙げて具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

(実施例1、比較例1、比較例2) 本発明の方法により、貼り合わせSOIウエーハのボンドウエーハを製造し、その品質を評価した。ボンドウエーハとなるシリコン単結晶ウエーハとしては、8" ϕ CZシリコン単結晶であって、結晶方位<100>;、格子間酸素濃度[O_i]=16ppma (JEIDA)で、結晶引き上げ速度を1.2mm/minとして引上げられた単結晶から切出されたものを用いた。このウエーハに本発明の熱処理を施した。ここではアニール炉として国際電気社製のVERTEX3 (DD-813V)を用い、1200℃で40分、Ar100%雰囲気下でアニールを行い、続いて同じ温度で酸素30%Ar70%の混合ガスで20分間アニールを行った。形成された酸化膜厚は約30nmであった。

【0074】アニールを行ったウエーハはフッ酸溶液による酸化膜除去後に5 μ m研磨を行い、深い領域でのCOP数(サイズ0.09 μ m以上)を測定した。COP測定にはKLAテンコール社製のSurfScan SP1を用いた。比較として同じシリコン単結晶ウエーハに、H₂/1200℃/1時間のアニールを行ったウエーハ(比較例1)と、Ar/1200℃/1時間のアニールを行ったウエーハ(比較例2)を5 μ m研磨し、同様にCOP数を測定した。測定結果を図3に示す。この図3より、実施例1のウエーハのCOP数は8インチウエーハ中400個以下であり、1.3個/cm²以下のCOP密度となっている。したがって、Grown-in欠陥の消滅効果に関して本方法は従来のH₂またはArアニールよりも高い効果を有するといえる。

【0075】また、これらの5 μ m研磨を行ったウエーハの酸化膜耐圧特性を測定した。測定の結果を図4と図5に示す。なお、ここで言うTDD (Time Dependent Dielectric Breakdown)の良品率とは、ゲート酸化膜厚25nm、ゲート面積4mm²、ストレス電流値0.01A/cm²、室温の条件下で、酸化膜耐圧が25C/cm²以上を有するもの、もしくはゲート酸化膜厚25nm、ゲート面積4mm²、ストレス電流値0.01A/cm²、100℃の条件下で、酸化膜耐圧が5C/cm²以上を有するものを良品とした場合の良品率であ

る。

【0076】また、ここで言うTZDB (Time Zero Dielectric Breakdown) の良品率とは、ゲート酸化膜厚25nm、ゲート面積8mm²、判定電流値1mA/cm²、室温の条件下で、酸化膜耐圧が8MV/cm以上を有するものを良品とした場合の良品率である。

【0077】図4及び図5より、酸化膜耐圧特性測定結果においても本方法で処理したウエーハは、深い領域においてもH₂またはArアニールウエーハよりも優れた酸化膜耐圧特性を示すことが分かる。以上の結果により、本発明の方法を用いてボンドウエーハとなるシリコン単結晶ウエーハを作製すれば、結晶欠陥が少なく、また酸化膜耐圧特性にも優れたウエーハが得られることがわかった。従って、このようなシリコン単結晶ウエーハを用いてSOIウエーハを作製すれば結晶欠陥の少ないSOIウエーハが得られる。

【0078】上記の条件で作製された3種類のボンドウエーハを用い、イオン注入剥離法により約0.1μmのSOI層膜厚を有するSOIウエーハを作製した。作製

条件は以下の通りである。

- 1) 水素イオン注入条件：H⁺イオン、注入エネルギー30KeV
- 2) 剥離熱処理条件：酸化性雰囲気、500℃、30分
- 3) 結合熱処理条件：窒素雰囲気（微量酸素含有）、1200℃、120分
- 4) タッチポリッシュ（SOI表面の微量研磨）あり
- 5) ベースウエーハ酸化膜：300nm

【0079】作製されたSOIウエーハのCOPをHFディップ法により観察した。HFディップ法とは、上記のような薄いSOI層を有するSOIウエーハをHF50%水溶液に浸漬すると、SOI層を貫通する欠陥があれば、これを通してBOXにHFが到達して酸化膜がエッチングされ、エッチピットが形成されるが、このエッチピットを薄いSOI層を透して光学顕微鏡により観察することにより、ウエーハのCOPを評価する方法である。測定結果を表1に示す。

【0080】

【表1】

	熱処理雰囲気	COP密度 (個/cm ²)
実施例1	Ar+Ar/O ₂	0.2
比較例1	H ₂ のみ	1.8
比較例2	Arのみ	1.9

【0081】表1より実施例のSOIウエーハは、従来のボンドウエーハにH₂アニールあるいはArアニールしか施していないSOIウエーハに比べてSOI層を貫通するようなCOPが極めて少ないことが判る。また、前述のように、この実施例1のSOIウエーハは、そのSOI層の深さ方向の全領域にわたり、大きさが0.09μm以上のCOPが1.3個/cm²以下であるため、極めて高品質のSOIウエーハとすることができ

る。

【0082】また、実施例1のSOIウエーハを作製する際に副生された剥離後のボンドウエーハの周辺部には0.2~0.3μm程度の段差が残っていたが、表面の酸化膜を除去した後、剥離面を約1μm研磨するだけで段差を除去することができ、かつ酸素析出物が露出してない良好な鏡面が得られた。したがって、このウエーハを新たなボンドウエーハまたはベースウエーハとして使用しても、貼り合わせに支障がないことが確認できた。

【0083】（実施例1、実施例2、実施例3）3種類のシリコン単結晶ウエーハを用いて本発明の方法により、貼り合わせSOIウエーハのボンドウエーハを製造し、その品質を比較した。用いたシリコン単結晶ウエーハは、実施例1で用いたウエーハ、実施例2として他の条件は実施例1と同じであるが結晶引き上げ速度を1、

9mm/minに速めて引上げられた単結晶から切出されたウエーハ、実施例3として他の条件は実施例1と同じであるが窒素を1014atoms/cm³添加した単結晶から切出されたウエーハの3種類のシリコンウエーハである。これらのウエーハに、1200℃で40分、Ar100%雰囲気下でアニールを行い、続いて同じ温度で酸素30%Ar70%の混合ガスで20分間アニールを行った。HF溶液による酸化膜除去後に5μm研磨を行い、深い領域でのCOP数(≧0.09μm)を測定した。結果を図6に示す。

【0084】この図6より最もCOPの少ない結晶は、窒素をドーブした結晶から成るウエーハであり、高速で引上げた結晶から成るウエーハ、通常速度で引上げた結晶から成るウエーハの順となる。よって、本方法では高速で引き上げた結晶や窒素ドーブ結晶を用いることにより更にGrown-in欠陥の少ないボンドウエーハを作製することができる。また高速で結晶を引き上げれば結晶引き上げの時間が短縮でき、スループットの向上を図ることができる。また、上記3種類の条件で作製したボンドウエーハについても、実施例1と同一の方法でSOIウエーハを作製し、COPを評価した。その結果を表2に示す。

【0085】

【表2】

	ボンドウエーハ	COP密度(個/cm ²)
実施例1	通常引上げ速度、窒素ドーブなし	0.2
実施例2	高速引上げ速度、窒素ドーブなし	0.1
実施例3	通常引上げ速度、窒素ドーブあり	0.01

【0086】表2から判るように、高速で引上げた結晶から成るシリコン単結晶ウエーハを用いたSOIウエーハのCOP密度は、通常のシリコン単結晶ウエーハを用いたSOIウエーハの2分の1であり、窒素をドーブした結晶から成るシリコン単結晶ウエーハを用いたもののCOP密度は通常のもの20分の1となっている。したがって、高速で引き上げた結晶や窒素ドーブ結晶を用いることにより、さらに良好なSOI層を持つSOIウエーハを得ることができる。

【0087】（実施例4、比較例3、比較例4）実施例1で用いたものと同じシリコン単結晶ウエーハに、Ar100%1200℃アニールを40分間行った後に、連続的に水蒸気を含む雰囲気での酸化を1150℃で240分行って酸化膜を1.0μm形成した。このウエーハをボンドウエーハとしSOI層が5μm、BOX層が1μmの貼り合わせSOIを通常の研削・研磨手法により作製した。酸化膜厚測定にはLeitz社製のMPV-SPを用いた。

【0088】このウエーハと、比較としてH₂/1200℃/1時間アニールを行ったウエーハ（比較例3）とAr/1200℃/1時間アニールを行ったウエーハ

（比較例4）にいったん室温まで冷却した後に酸化熱処理（水蒸気を含む雰囲気での酸化を1150℃で240分）のみを加えたウエーハから作製したSOIウエーハの酸化膜耐圧特性を比較した。用いたウエーハと酸化膜耐圧測定条件は実施例1と同一である。

【0089】結果を図7と8に示す。この結果、本発明の熱処理を加えたウエーハは、従来のアニール方法ではあまり効果が得られなかったSOI層の厚さが0.5μmを超える厚さのものであっても、TZDB、TDDBとも、単に酸化熱処理を加えたウエーハと比較し優れた酸化膜耐圧を示すことが分かる。

【0090】なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【0091】例えば、本発明においてチョクラルスキー法によって窒素のドーブの有無にかかわらずシリコン単結晶棒を育成するに際しては、融液に磁場が印加されているか否かは問われないものであり、本発明のチョクラルスキー法にはいわゆる磁場を印加するMCZ法も含まれる。

【0092】また、本発明の本質的部分である非酸化性雰囲気下の高温熱処理及び酸化性雰囲気下の熱処理はウエーハ加工工程中のいかなるプロセスにおいても適用可

能である。例えばウエーハ切断後の化学エッチング工程後、またはその後の工程である粗研磨工程後、あるいは最終研磨工程後等に本発明の熱処理を適用することができる。

【0093】また、本発明の非酸化性ガス雰囲気下での熱処理とは、上記実施形態ではアルゴンまたは窒素ガスを使用する場合を中心に説明したが、必ずしも雰囲気がアルゴンまたは窒素ガスにのみ限定されるものではなく、これらのガスに爆発下限値以下の微量の水素を混合させたガスや、ヘリウム、ネオン、クリプトン、キセノンといった希ガスでアルゴンと同様の効果のあるガスであれば適用することができ、本発明の範囲に含まれるものである。またアルゴンと窒素の混合ガス雰囲気下での熱処理についても、同様にアルゴン以外の希ガスを適用することができる。

【0094】

【発明の効果】ボイド欠陥を従来法よりも効率よく深い領域まで消滅することが可能であり、優れた品質のSOI層を形成することができる。また、非酸化性雰囲気での熱処理と酸化雰囲気での熱処理を同一のバッチで処理するため、SOI作製工程における工程数が増加することなくコストアップにつながらないし、水素を全く用いずに熱処理することもできるので、水素に起因する炉からの汚染や、爆発の危険性もなく熱処理ができる。また、CZウエーハを用いているので、300mm以上の大口径にも対応できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】（A）～（E）は、本発明の貼り合わせSOIウエーハの製造行程の一例を示したフロー図である。

【図2】貼り合わせ前にボンドウエーハとなるシリコン単結晶ウエーハに加えられる熱処理の概要を示した図である。

【図3】実施例1、比較例1及び比較例2において、熱処理後のウエーハのCOP数を測定した結果図である。

【図4】実施例1、比較例1及び比較例2において、熱処理後のウエーハのTZDBの良品率を示した図である。

【図5】実施例1、比較例1及び比較例2において、熱処理後のウエーハのTDDBの良品率を示した図である。

【図6】実施例1ないし実施例3において、熱処理後のウエーハ表面のCOP数を測定した結果図である。

【図7】実施例4において、SOIウエーハのTZDB良品率を示した図である。

【図8】実施例4において、SOIウエーハのTDDB良品率を示した図である。

【図9】(a)は、アニール雰囲気中の酸素濃度とCOP数との関係を示した図であり、(b)は、アニールにより形成された酸化膜厚とCOP数との関係を示した図である。

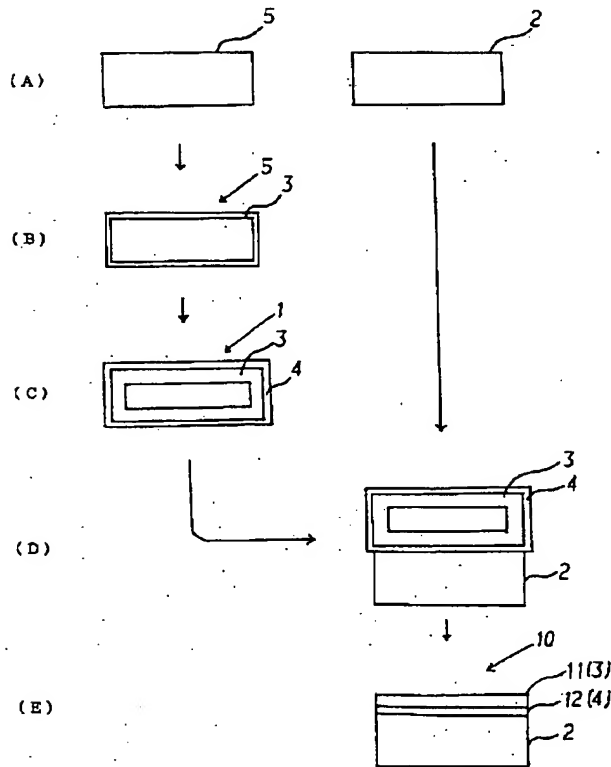
【図10】本発明の熱処理と、従来の熱処理のそれぞれを別々のチューブで繰り返し施し、各熱処理毎のウエーハ中の金属不純物による汚染レベルの推移を比較した図

である。

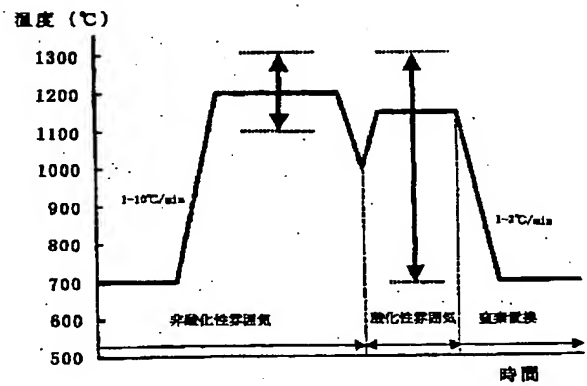
【符号の説明】

1…ボンドウエーハ、 2…ベースウエーハ、 3…低欠陥層、 4…酸化膜、 5…シリコン単結晶ウエーハ、 10…SOIウエーハ、 11…SOI層、 12…BOX。

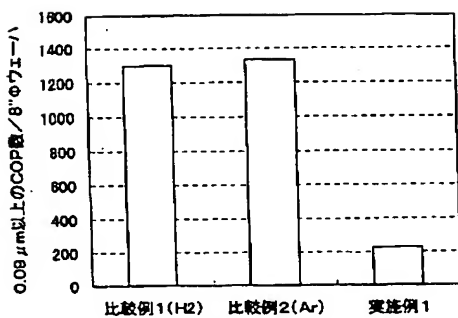
【図1】



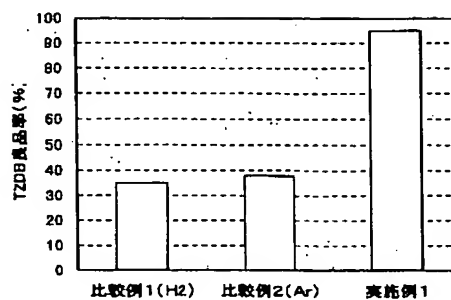
【図2】



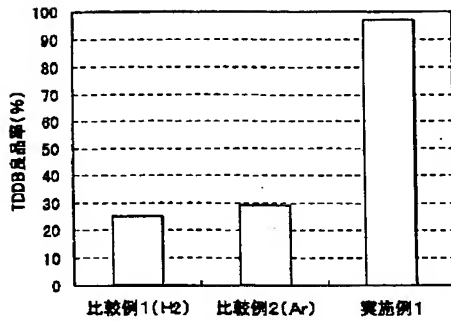
【図3】



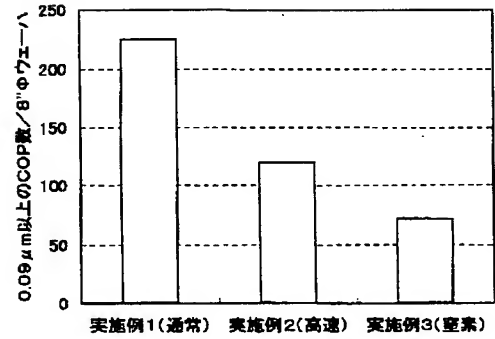
【図4】



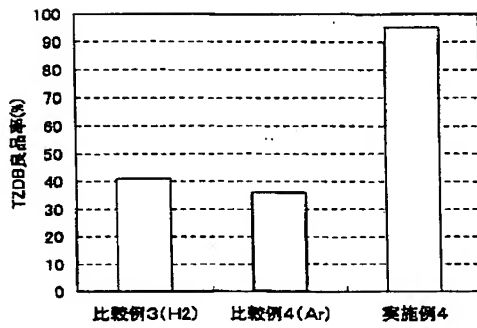
【図5】



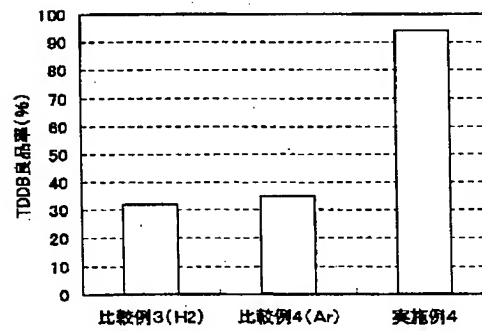
【図6】



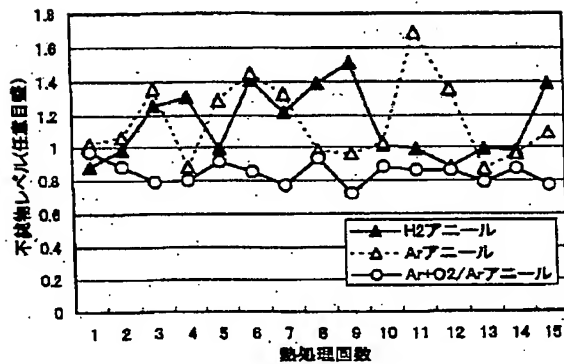
【図7】



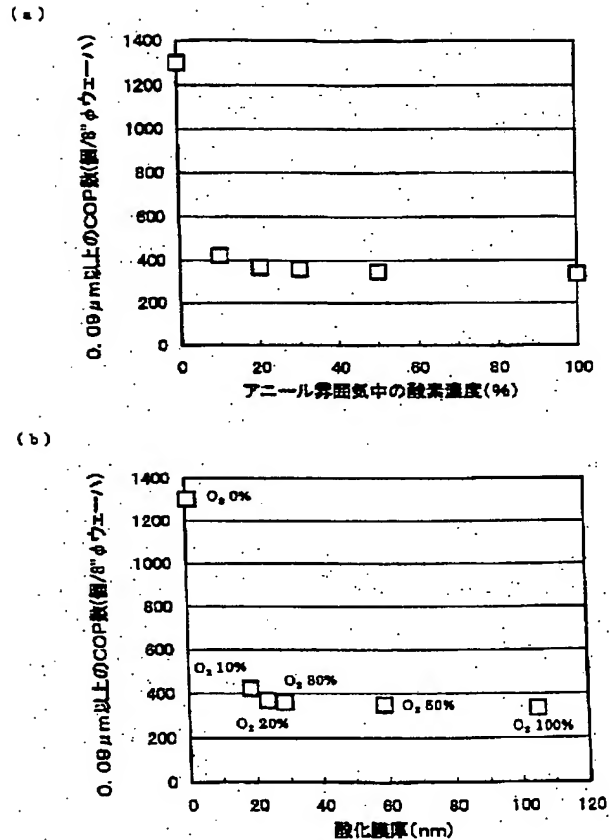
【図8】



【図10】



【図9】



【手続補正書】

【提出日】平成12年8月23日(2000.8.23)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正内容】

【0044】アルゴン100%雰囲気下、1200℃、40分間アニールした後に、酸素濃度の異なる6種類のアルゴンと乾燥酸素の混合ガス(酸素濃度0、10、20、30、50、100%)で20分間アニールした後、ウェーハの表面を5 μm 研磨して0.09 μm 以上のCOPを測定した結果をそれぞれ図9(a)(b)に示した。5 μm 研磨した理由は、ウェーハ表層部におけるCOPの消滅効果を観察するためである。図9(a)には、アニール雰囲気中の酸素濃度とCOP数との関係を示しており、図9(b)には、アニールにより形成された酸化膜厚とCOP数との関係を示している。図9の

結果から、混合ガス雰囲気中の乾燥酸素濃度が10%程度でも、形成される酸化膜厚20 nm以上であれば、乾燥酸素100%(酸化膜厚100 nm程度)と同等の効果が得られることがわかる。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正内容】

【0045】さらに、非酸化性雰囲気下での熱処理後に酸化性雰囲気中で熱処理することにより、チューブやポートからのウェーハへの汚染を最小限に防ぐ効果があることがわかった。図10は、アルゴン100%雰囲気下、1200℃、40分間アニールした後に、アルゴンと乾燥酸素の混合ガス(酸素濃度30%)で20分間アニールする熱処理と、水素100%またはアルゴン100%で1200℃、60分間アニールする熱処理のそれぞれを別々のチューブで繰り返し熱処理し、各熱処理毎のウ

エーハ中の金属不純物による汚染レベルの推移を比較したものである。汚染レベルの測定は、Semiconductor Diagnostics Inc.(SDI)社製の、S P V (Surface Photo Vo

ltage) (商品名：ウエーハ汚染モニターシステム) を用いた。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)